Desain *Buck Converter* untuk Pengaturan Kecepatan Motor DC dengan Kontrol PI

Dane[1], Sutedjo[2], Ony Asrarul Qudsi[3]
[1, 2, 3] Program Studi Teknik Elektro Industri, Politeknik Elektronika Negeri Surabaya
danedop06@gmail.com

***Abstrak*- Motor DC merupakan motor yang membutuhkan suplai tegangan searah untuk dapat mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Kontrol PI digunakan agar kecepatan motor DC tetap konstan walaupun terdapat gangguan. Pada penelitian ini dibuat alat pengaturan kecepatan motor DC dengan kontrol PI. Pada alat ini sumber berasal dari jala-jala PLN 220 V yang kemudian disearahkan dengan *uncontrolled full wave rectifier 1 phase* dan dihubungkan pada *buck converter*. Keluaran *buck converter* lalu dihubungkan dengan motor DC 24 V 120 W yang telah dikopel pada pulley pereduksi putaran. Pada kondisi *close loop* dengan kontrol PI dengan setpoint 430 rpm, Kp 2, dan Ki 30 menghasilkan *rise time* 1,2 detik dan *settling time* 9 detik. Ketika diberi gangguan penurunan tegangan sumber dari 220Vac ke 200Vac kecepatan turun hingga 405 rpm dan setelah 9,6 detik kecepatan mampu menuju setpoint 430 rpm dengan error gangguan 2,29%.**

Kata kunci: Motor DC, buck converter, uncontrolled full wave rectifier 1 phase, kontrol PI.

I. PENDAHULUAN

Sampai saat ini motor DC telah banyak digunakan dalam dunia industri maupun rumah tangga. Dalam penggunaannya motor DC sering kali mengalami penurunan kecepatan akibat beban yang digunakan, maka dari itu diperlukan suatu kontrol agar kecepatan motor DC tetap konstan. Kontrol PI (*Proportional Integral*) merupakan salah satu kontrol yang dapat digunakan pada motor DC. Dengan kontrol PI, kecepatan motor DC dapat dijaga konstan sesuai *setpoint* yang diinginkan.

Oleh sebab itu pada penelitian ini dibuat alat pengaturan kecepatan motor DC dengan kontrol PI. Pada alat ini sumber berasal dari jala-jala PLN 220 V yang kemudian disearahkan dengan *uncontrolled full wave rectifier 1 phase* dan dihubungkan pada *buck converter*. Motor DC disuplai dari keluaran *buck converter* tersebut. *Buck converter* dipilih karena memiliki beberapa kelebihan antara lain efisiensi yang tinggi dan *ripple* pada tegangan keluaran yang rendah. Kontrol PI digunakan untuk mengatur tegangan keluaran *buck converter* berdasarkan respon *error* kecepatan sehingga kecepatan motor DC dapat dijaga konstan.

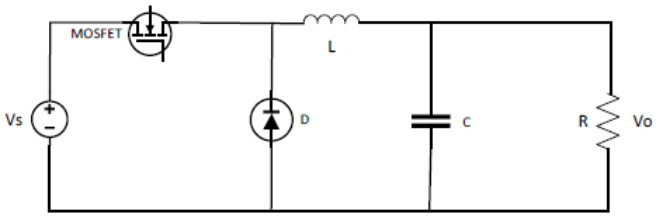
II. TINJAUAN PUSTAKA

A. *Motor DC*

Motor DC merupakan motor yang membutuhkan suplai tegangan searah untuk dapat mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Komponen utama dari motor DC adalah rotor, stator dan komutator. Kelebihan dari motor DC adalah mudah untuk dikontrol, torsi awal yang besar, dan kontrolnya linier. Prinsip kerja dari motor DC adalah ketika arus listrik melewati kumparan medan maka berdasarkan gaya lorenz akan timbul gaya magnet yang mehasilkan torsi yang menggerakkan motor DC.

Pengaturan kecepatan motor DC dapat dilakukan dengan beberapa metode sesuai jenis motornya, antara lain dapat dilakukan dengan mengatur tegangan jangkar, mengatur *flux* motor, dan mengatur tahan jangkar. Sistem yang diusulkan menggunakan motor DC jenis magnet permanen. Pada motor DC magnet permanen, *flux* motor berasal dari magnet permanen sehingga nilainya tidak bisa diatur. Maka metode pengaturan kecepatan yang digunakan pada motor DC magnet permanen adalah dengan pengaturan tegangan jangkar yang terletak pada terminal motor.

B. *Buck Converter*



Gambar 1. Rangkaian *buck converter*

Buck Converter merupakan konverter penurun tegangan yang mengkonversikan tegangan masukan DC menjadi tegangan DC lainnya yang lebih rendah. Seperti pada Gambar 1, rangkaian ini terdiri atas satu saklar aktif (MOSFET), satu saklar pasif (diode), kapasitor dan induktor sebagai tapis keluarannya. MOSFET yang digunakan pada rangkaian *buck converter* bertindak sebagai saklar yang dapat membuka atau menutup rangkaian sehingga arus dapat dikendalikan sesuai dengan *duty cycle* yang diinginkan [1], [2].

C. *Kontrol PI*

Suatu pengontrol proporsional yang memberikan aksi kontrol proporsional dengan *error* akan mengakibatkan efek pada pengurangan rise time dan menimbulkan kesalahan keadaan tunak (*offset*) [3]. Suatu pengontrol integral yang memberikan aksi kontrol sebanding dengan jumlah kesalahan akan mengakibatkan efek yang baik dalam mengurangi kesalahan keadaan tunak tetapi dapat mengakibatkan respon transien yang memburuk [4].

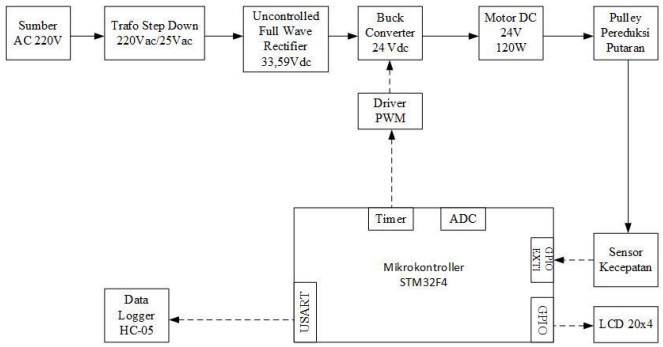
Gabungan aksi kontrol proporsional dan aksi kontrol integral membentuk aksi kontrol proporsional plus integral

Submitted: 18/08/2021; Revised: 05/09/2021;
Accepted: 29/11/2021; Online first: 01/12/2021
http://dx.doi.org/10.46964/poligrid.v2i2.774

(kontrol PI). Kontrol PI bertujuan untuk mempercepat reaksi sebuah sistem dan menghilangkan offset [5], [6].

III. METODE PENELITIAN

Tahap pertama dalam penelitian adalah perencanaan sistem, dalam tahap ini adalah berupa pembuatan blok diagram. Blok diagram sistem ditunjukkan seperti pada Gambar 2.



Gambar 2. Blok diagram sistem

Berdasarkan blok diagram pada Gambar 2, untuk sumber dari sistem menggunakan listrik PLN 220Vac/50Hz yang diturunkan tegangannya menggunakan trafo *step down* 220Vac ke 25Vac. Selanjutnya dari trafo step down, tegangan disearahkan dengan *uncontrolled full wave rectifier 1 phase*. Lalu setelah disearahkan, tegangan akan diturunkan oleh *buck converter* menjadi 0-24Vdc. Mikrokontroler yang digunakan adalah STM32F4. Untuk mengatur besarnya tegangan output *buck converter* digunakan *driver* PWM yang telah terhubung pada *timer* mikrokontroler sehingga besarnya *duty cycle* dapat diatur. Setelah melewati *buck converter*, sistem akan dihubungkan ke motor DC 24V 120W yang telah dikopel pada *pulley* pereduksi putaran. Pada *pulley* dipasang sensor kecepatan *rotary encoder*, yang mana sensor tersebut dihubungkan pada GPIO *external interrupt* mikrokontroler. Untuk tampilannya menggunakan LCD 20x4 yang dihubungkan pada GPIO mikrokontroller dan juga digunakan HC-05 yang terhubung pada USART mikrokontroler sebagai *data logger*. Untuk cara kerja sistem adalah dengan menggunakan kontrol PI sistem akan menjaga kecepatan motor DC tetap konstan pada 430 rpm walaupun terdapat gangguan.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. *Pengujian Sensor Kecepatan*

Sensor kecepatan menggunakan *rotary encoder* dengan jumlah lubang piringan 24 buah. Piringan tersebut diletakkan pada *pulley* pereduksi putaran sepetri pada Gambar 3.

Gambar 3. Pengujian sensor kecepatan

Pengujian dilakukan dengan menggunakan tegangan 18 Volt hingga 24 Volt untuk memvariasikan kecepatannya. Pada pengujian ini digunakan peralatan power supply dan *tachometer* dengan hasil pengujian seperti pada Tabel 1.

TABEL 1
DATA PENGUJIAN SENSOR KECEPATAN

V (Volt)	Kecepatan Putar (RPM)		*Error* (%)
	Pembacaan Sensor	Pembacaan *Tachometer*	
18	395	394,1	0,23
19	417,5	417,4	0,02
20	440	440,7	0,16
21	470	471,1	0,23
22	497,5	497,9	0,08
23	522,5	522,7	0,04
24	547,5	548,5	0,18
	Error Rata-rata		0,13

Berdasarkan Tabel 1 bahwa hasil pembacaan sensor kecepatan cukup presisi dengan nilai *error* rata-rata 0,13%.

B. *Pengujian Buck Converter*

Pengujian ini digunakan sistem tanpa kontrol di mana *buck converter* mendapat supply jala-jala PLN 220Vac yang telah disearahkan menggunakan rangkaian penyearah gelombang penuh dan dibebani motor DC yang dikopel *pulley* pereduksi putaran. Rangkaian pengujian integrasi sistem tanpa kontrol ditunjukkan pada Gambar 4.

Gambar 4. Pengujian *buck converter*

Submitted: 18/08/2021; Revised: 05/09/2021;
Accepted: 29/11/2021; Online first: 01/12/2021
http://dx.doi.org/10.46964/poligrid.v2i2.774

TABEL 2
DATA PENGUJIAN *BUCK CONVERTER*

Duty (%)	Iin (A)	Vin (V)	Io (A)	Vo (V)	N (rpm)	Pin (W)	Po (W)	Eff (%)
30	0,709	30,41	2,248	7,63	125	21,56	17,15	79,55
40	0,944	29,33	2,266	10,27	192,5	27,69	23,27	84,05
50	1,14	28,62	2,247	12,85	262,5	32,63	28,87	88,50
60	1,393	28,07	2,262	15,32	327,5	39,10	34,65	88,63
70	1,632	27,12	2,278	17,63	392,5	44,26	40,16	90,74
80	1,845	26,41	2,295	19,84	450	48,73	45,53	93,45
					Efisiensi Rata-rata			87,49

Pengujian integrasi tanpa kontrol *Buck Converter* dengan motor DC yang dikopel mekanik, didapatkan data seperti Tabel 2. Pengujian dilakukan dengan tegangan input sebesar 220 Volt dan *duty cycle* yang diatur mulai 30% hingga 80%.

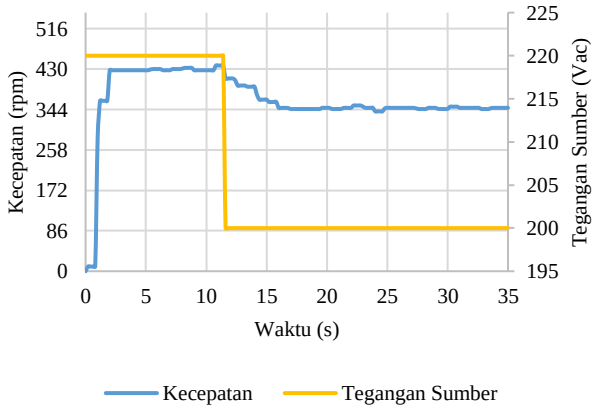
Ketika *buck converter* dibebani motor DC yang telah dikopel pulley pereduksi putaran ternyata *buck converter* mengalami drop tegangan sehingga tegangan keluarannya tidak mencapai 24 V. Walaupun begitu efisiensi rata-rata dari *buck converter* masih baik dengan nilai 87,49%, arus tidak melebihi arus maksimal motor 7,4 A dan kecepatan masih pada *range* target yang ditentukan 430 rpm.

C. *Pengujian Integrasi Open Loop dan Close Loop ketika Diberi Gangguan Penurunan Tegangan Sumber 220Vac ke 200Vac*

Pada pengujian ini bertujuan untuk membandingkan antara keadaan *open loop* dan *close loop* ketika diberi gangguan berupa penurunan tegangan sumber dari 220Vac ke 200Vac dengan menggunakan variac seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.

Gambar 5. Pengujian integrasi ketika diberi gangguan penurunan tegangan sumber dari 220Vac ke 200Vac

Pertama, pada keadaan *open loop* dengan *duty cycle* tetap 75% ketika diberi gangguan penurunan tegangan sumber dari 220Vac ke 200Vac diperoleh grafik seperti pada Gambar 6.

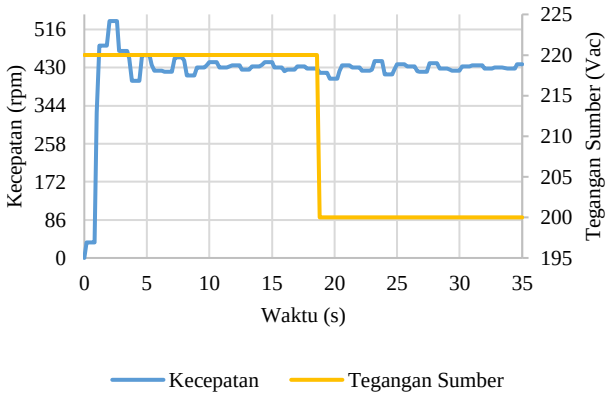


Gambar 6. Grafik kecepatan ketika *open loop* dengan diberi gangguan penurunan tegangan sumber dari 220Vac ke 200Vac

Ketika keadaan *open loop*, *duty cycle* diatur konstan 75% sehingga kecepatan alat sekitar 430 rpm. Pada keadaan *starting* sebelum diberi gangguan, *rise time* dan *settling time* membutuhkan waktu 2 detik. Dengan tegangan sumber mula-mula 220 Vac, ketika detik ke 11,6 diberi gangguan penurunan tegangan input dengan variac hingga tegangannya menjadi 200 Vac, kecepatan turun hingga 340 rpm. Dan hasilnya ketika diberi gangguan kecepatan tidak mampu menuju kecepatan sebelum diberi gangguan dengan *error* gangguan 18,1%.

Selanjutnya, pada keadaan *close loop* dengan setpoint 430 rpm, Kp 2, dan Ki 30 ketika diberi gangguan penurunan tegangan sumber dari 220Vac ke 200Vac diperoleh grafik seperti pada Gambar 7. Parameter kontrol PI tersebut diperoleh dari penalaan *trial* dan *error*.

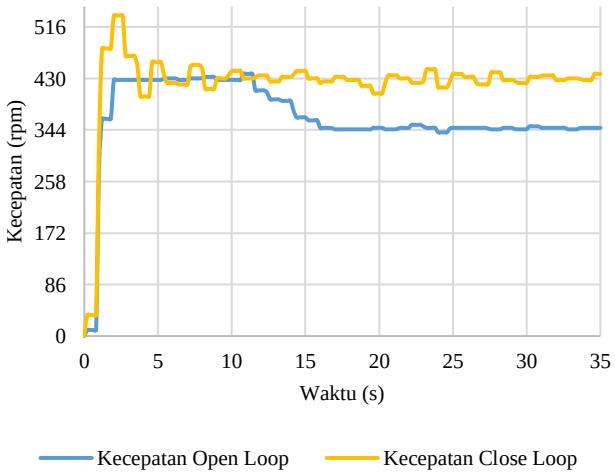
Submitted: 18/08/2021; Revised: 05/09/2021;
Accepted: 29/11/2021; Online first: 01/12/2021
http://dx.doi.org/10.46964/poligrid.v2i2.774



Gambar 7. Grafik kecepatan ketika *close loop* dengan *set point* 430 rpm dan diberi gangguan penurunan tegangan sumber dari 220Vac ke 200Vac

Ketika keadaan *close loop*, alat dikontrol dengan kontrol PI dengan parameter setpoint 430 rpm, Kp 2, dan Ki 30. Pada keadaan *starting* sebelum diberi gangguan, *rise time* membutuhkan waktu 1,2 detik dan *settling time* membutuhkan waktu 9 detik. Dengan tegangan sumber mula-mula 220 Vac, ketika detik ke 18,8 diberi gangguan penurunan tegangan input dengan variac hingga tegangannya menjadi 200 Vac dan kecepatan turun hingga 405 rpm. Hasilnya setelah 9,6 detik atau pada detik ke 28,4 kecepatan mampu menuju *setpoint* 430 rpm dengan *error* gangguan 2,29%.

Jika antara keadaan *open loop* dan *close loop* dibandingkan, maka diperoleh grafik perbandingan seperti pada Gambar 8.



Gambar 8. Grafik perbandingan kecepatan ketika *open loop* dan *close loop* dengan set point 430 rpm dan diberi gangguan penurunan tegangan sumber dari 220Vac ke 200Vac

Pada keadaan *open loop* tanpa kontrol, kecepatan diatur agar mendekati setpoint 430 rpm. Ketika diberi gangguan penurunan tegangan sumber dari 220Vac ke 200Vac kecepatan tidak mampu kembali ke setpoint dengan error gangguan 18,1%. Dan ketika keadaan *close loop* dengan kontrol PI, kecepatan mampu kembali ke setpoint sehingga error gangguan dapat diperkecil menjadi 2,29%.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. *Kesimpulan*

Berdasarkan penelitian yang telah dikerjakan. Secara parsial sensor kecepatan *rotary encoder* yang digunakan cukup presisi dengan nilai *error* rata rata 0,13% dan *buck converter* sebagai *driver* motor DC memiliki efisiensi rata rata 87,49%. Secara integrasi pada keadaan *close loop* dengan kontrol PI, dengan parameter *setpoint* 430 rpm, Kp 2, dan Ki 30 *rise time* membutuhkan waktu 1,2 detik dan settling time membutuhkan waktu 9 detik. Ketika diberi gangguan penurunan tegangan sumber dari 220Vac ke 200Vac kecepatan turun hingga 405 rpm dan setelah 9,6 detik kecepatan mampu menuju *setpoint* 430 rpm dengan *error* gangguan 2,29%.

B. *Saran*

Dalam pembuatan penelitian ini tentu masih terdapat kekurangan. Oleh karena itu, terdapat beberapa hal yang disarankan dari hasil pembuatan penelitian. Pertama dalam pemilihan komponen penyusun rangkaian agar lebih teliti dan memperhatilkan perancangan sistem agar kinerja alat menjadi lebih sempurna. Lalu penggunaan sensor dalam membaca kecepatan dapat diganti dengan yang lebih akurat, agar nantinya dapat memperhalus respon dari *close loop* kontrol PI.

REFERENSI

[1] D. W. Hart, *Power Electronics*. New York: McGraw-Hill. 2011.
[2] S. J. Chapman, *Electric Machinery Fundamentals Fourth Edition*, New York: The McGraw-Hill Companies, Inc. 2005.
[3] S.T. Aprilyani, I. Irianto, and E. Sunarno, "Desain dan komparasi kontrol kecepatan motor DC," *Jurnal Ecotipe (Electronic, Control, Telecommunication, Information, and Power Engineering)*. 2020 Oct 31;7(2):127-34.
[4] M. Fauziyah, D. Dewatama, and M. Atisobhita, "Implementasi kontrol PI pada pengaturan kecepatan motor DC," In Prosiding *Seminar Nasional Teknologi Elektro Terapan* vol. 1, no. 01, Oktober 2017, pp. 217-222.
[5] J. Jumiyatun, "Pengendalian kecepatan motor DC menggunakan sensor encoder dengan kendali PI," *Jurnal Ecotipe* (Electronic, Control, Telecommunication, Information, and Power Engineering), 4(1), 2017, pp.23-27.
[6] K. Kasmira, A. Waris, and M. T. Sapsal, "Rancang bangun sistem kendali kecepatan putar motor DC menggunakan PID controller pada mesin pengaduk," *Jurnal Agritechno*, 2018, pp.81-92.

Submitted: 18/08/2021; Revised: 05/09/2021;
Accepted: 29/11/2021; Online first: 01/12/2021
http://dx.doi.org/10.46964/poligrid.v2i2.774